

2001 P 403 6



36

①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ Off nlegungsschrift  
⑩ DE 199 31 233 A 1

⑤① Int. Cl. 7:  
H 02 N 2/06  
F 02 D 41/20

②① Aktenzeichen: 199 31 233.8  
②② Anmeldetag: 7. 7. 1999  
④③ Offenlegungstag: 18. 1. 2001

DE 199 31 233 A 1

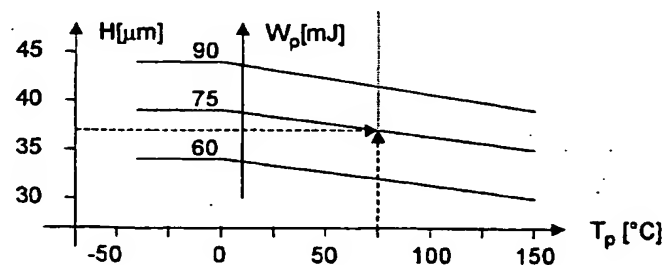
<p>⑦① Anmelder: Siemens AG, 80333 München, DE</p>	<p>⑦② Erfinder: Becker, Jörg, 93102 Pfatter, DE; Hertel, Udo, 93055 Regensburg, DE; Pirkel, Richard, 93053 Regensburg, DE; Hoffmann, Christian, Dr., 93057 Regensburg, DE</p> <p>⑤⑥ Entgegenhaltungen: DE 196 52 801 C1 DE 198 05 184 A1 DE 197 42 447 A1</p>
---	---

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Verfahren zum Ansteuern eines kapazitiven Stellgliedes

⑤⑦ Zur Erzielung eines konstanten Hubs H muß einem Stellglied P ein von dessen Temperatur T P abhängiger Energiebetrag W P zugeführt werden. In Ansteuerpausen wird mittels Kleinsignalen, die keinen Hub des Stellgliedes bewirken, die Stellgliedkapazität C P oder die dazu proportionale Stellgliedtemperatur T P ermittelt; mit diesem Wert wird einem empirisch ermittelten Kennfeld KF der für den gewünschten Hub erforderliche Wert der Energie W P entnommen, mit welchem das Stellglied P angesteuert wird.



DE 199 31 233 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Ansteuern eines kapazitiven Stellgliedes zum Erzielen eines gewünschten Hubs, insbesondere zum Betätigen eines Kraftstoffeinspritzventils einer Brennkraftmaschine.

Die in einen Zylinder einer Brennkraftmaschine eingespritzte Kraftstoffmenge ist abhängig vom Kraftstoffdruck sowie vom Hub und der Öffnungsdauer des Kraftstoffeinspritzventils bzw. dessen Stellgliedes.

Aus DE 196 44 521 A1 ist ein Verfahren bekannt, nach welchem ein kapazitives Stellglied eines Kraftstoffeinspritzventils mit konstanter Energie beaufschlagt wird, um einen möglichst konstanten Hub zu erreichen.

Bei Messungen an Piezostellgliedern hat sich herausgestellt, daß sich der Hub eines mit konstanter Energie  $W = \int u_p \cdot i_p dt$  beaufschlagten kapazitiven Stellgliedes mit der Temperatur verändert ( $u_p$  bzw.  $i_p$  sind die dem Stellglied zugeführten Größen Spannung bzw. Strom). In einem vorgesehenen Betriebstemperaturbereich von  $-40^\circ$  bis  $+150^\circ$  beträgt diese Änderung etwa  $-10\%$ , d. h., mit steigender Temperatur verringert sich der Hub.

Es ist Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren anzugeben, welches es ermöglicht, diese Hubabweichungen im gesamten Betriebstemperaturbereich möglichst klein zu halten.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die im Anspruch 1 genannten Merkmale gelöst.

Es ist bekannt, daß die Stellgliedkapazität etwa proportional zur Stellgliedtemperatur ist. Diagnostiziert und geregelt wird ein kapazitives Stellglied bisher beispielsweise über die dem Stellglied zugeführte Ladung oder die resultierende Stellgliedspannung, also sog. "Großsignal"-Größen, welche den gewünschten Hub bewirken. Die durch Ansteuerung mit Großsignalen ermittelte Stellgliedkapazität bzw. Stellgliedtemperatur ist sehr toleranzbehaftet, d. h., ungenau, was eine relativ unsichere Diagnose und Regelung zur Folge hat.

Durch Ansteuerung des Stellgliedes mit Kleinsignalen, die so klein sind, daß das Stellglied keinen Hub ausführt, ist eine wesentlich präzisere Bestimmung der Stellgliedkapazität und damit der Stellgliedtemperatur möglich.

Gemäß der Erfindung wird in einem jeweils in Ansteuerpausen (Einspritzpausen) durchgeführten Meßverfahren mit Kleinsignalen die Stellgliedkapazität  $C_p$  und über diese die momentane Stellgliedtemperatur  $T_p$  ermittelt, die ja proportional zur Stellgliedkapazität  $C_p$  ist. In einem vorgesehenen Betriebstemperaturbereich von  $-40^\circ\text{C}$  bis  $+150^\circ\text{C}$  steigt die Stellgliedkapazität  $C_p$  proportional zur Stellgliedtemperatur  $T_p$  etwa um den Faktor 2.

Aus einem aus den erwähnten Messungen erstellten Kennfeld ist bekannt, mit welcher Energie  $W_p$  ein kapazitives Stellglied P bei einer bestimmten Stellgliedtemperatur  $T_p$  geladen werden muß, um einen bestimmten Hub zu erzielen. Da mit der Stellgliedkapazität  $C_p$  auch die Stellgliedtemperatur  $T_p$  bekannt ist, kann die für einen bestimmten, beispielsweise konstanten Hub H erforderliche, temperatur- oder kapazitätsabhängige Energiemenge  $W_p(T_p)$  oder  $W_p(C_p)$  bestimmt werden.

Zwei Ausführungsbeispiele des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Ansteuern eines kapazitiven (piezogesteuerten) Stellgliedes für ein Kraftstoffeinspritzventil einer Brennkraftmaschine sind im folgenden unter Bezugnahme auf die schematische Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1: ein Diagramm des Verlaufs der Stellgliedspannung  $u_p$  über der Zeit  $t$  zur Ermittlung der Stellgliedkapazität  $C_p$  gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel,

Fig. 2: ein Diagramm der Stellgliedkapazität  $C_p$ , abhängig von der Entladedauer  $\Delta t$  bei konstantem Entladestrom,

Fig. 3: ein Diagramm der Stellgliedkapazität  $C_p$ , abhängig von der Stellgliedtemperatur  $T_p$ ,

Fig. 4: ein Kennfeld für die Energie  $W_p$  als Funktion von Stellgliedtemperatur  $T_p$  und Stellgliedhub H, und

Fig. 5: eine Wechselspannungsbrücke zum Messen der Kleinsignalkapazität gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel.

Das kapazitive Stellglied weist beispielsweise eine Nennkapazität von  $C_p = 4 \mu\text{F}$  bei einer Stellgliedtemperatur  $T_p = 20^\circ\text{C}$  auf. Die Energiewerte zum Ansteuern des Stellgliedes, um einen von der Temperatur unabhängigen, konstanten Hub zu erzielen, sind aus einem empirisch ermittelten Kennfeld nach Fig. 4 bekannt.

Um mit einem Verfahren gemäß dem ersten, bevorzugten Ausführungsbeispiel die momentane Stellgliedtemperatur  $T_p$  zu bestimmen, wird das Stellglied erfindungsgemäß, wie in Fig. 1 gezeigt, in den Einspritzpausen auf eine vorgegebene, niedrige Meßspannung um aufgeladen, die so niedrig sein muß, daß das Stellglied seine Länge nicht verändert, d. h., daß vom Kraftstoffeinspritzventil kein Kraftstoff eingespritzt wird. Anschließend wird das Stellglied mit einem vorgegebenen Konstantstrom  $i_k$  entladen, wodurch sich ein gerader, abfallender Verlauf der Stellgliedspannung  $u_p$  ergibt, deren Steilheit durch die Stellgliedkapazität  $C_p$  bestimmt ist. Dabei wird gemessen, in welcher Zeit  $\Delta t = t_2 - t_1$  die Stellgliedspannung  $u_p$  von einem vorgegebenen Wert  $u_1$  auf einen niedrigeren, zweiten vorgegebenen Wert  $u_2$  abfällt. Die Stellgliedkapazität  $C_p$  errechnet sich dann aus der nachstehenden Formel:

$$C_p = \frac{i_k}{u_1 - u_2} \Delta t = K \cdot \Delta t,$$

mit  $\Delta t = t_2 - t_1$  und

$$K = \frac{i_k}{u_1 - u_2}.$$

Die Funktion  $C_p = f(\Delta t)$  bei konstanten Werten für  $i_k$ ,  $u_1$  und  $u_2$  ist aus Fig. 2 zu entnehmen. Bei  $\Delta t = 170 \mu\text{s}$  ergibt sich beispielsweise eine Kapazität von  $C_p = 5 \mu\text{F}$ .

Mit dem aus der Formel oder aus Fig. 2 erhaltenen Wert kann aus Fig. 3 die der Stellgliedkapazität  $C_p = 5 \mu\text{F}$  proportionale Stellgliedtemperatur  $T_p$  bekannt ist, kann aus dem Kennfeld gemäß Fig. 4 die Energie  $W_p$  ermittelt werden, die erforderlich ist, um den gewünschten Stellgliedhub H zu erzielen. Soll  $H = 37 \mu\text{m}$  sein, so muß dem Stellglied beispielsweise eine Energie von  $75 \text{ mJ}$  zugeführt werden, wenn es einen Hub von  $37 \mu\text{m}$  ausführen soll.

In dem in Fig. 4 dargestellten, empirisch ermittelten Kennfeld sind beispielhaft drei Kurven konstanter Energie gezeichnet, die, abhängig von der Stellgliedtemperatur, jeweils einen bestimmten Stellgliedhub H ergeben. Dieses Kennfeld kann Energiewerte  $W_p = f(T_p, H)$  in feiner Abstufung oder mit weniger Stützstellen und Interpolationsmöglichkeit, wie an sich bekannt, enthalten.

Die angegebenen beispielhaften Werte sind in den Fig. 2 bis 4 durch gestrichelte Linien bzw. Pfeile gekennzeichnet.

Ein besonderer Vorteil dieses Verfahrens ist, daß kein zusätzlicher Hardwareaufwand erforderlich ist, d. h., daß es mit der vorhandenen Hardware durchgeführt werden kann.

Bei dem zweiten, mit zusätzlicher Hardware zu realisierenden Ausführungsbeispiel nach der Erfindung gemäß Fig. 5 liegt ein kapazitives Stellglied P in Reihenschaltung mit einer Umschwingspule L und mit einem Schalttransistor T an einer Gleichspannungsquelle DC. Diese Ansteuerschal-

tung für das Stellglied ist fett hervorgehoben. Die übrige Ansteuerschaltung ist nicht dargestellt, sondern nur durch die unterbrochene Linie zwischen der Gleichspannungsquelle DC und der Umschwingsspule L angedeutet.

Das Stellglied P bildet einen Zweig einer Wechselspannungs-(voll)-brücke, deren strichpunktiert umrandete andere Zweige von komplexen Brückenwiderständen Z2 bis Z4 gebildet werden. Parallel zur Reihenschaltung der Brückenwiderstände Z3 und Z4 ist eine Wechselspannungsquelle AC angeordnet, welche die Brücke mit Wechselspannungskleinsignalen speist. In der Brückendiagonale zwischen den Brückenwiderständen Z2 und Z4 ist eine Auswerterschaltung A angeordnet, in welcher in den Einspritzpausen, in welchen die Wechselspannungsbrücke mittels Schaltern S an das Stellglied P angeschlossen ist, in an sich bekannter Weise die Stellgliedkapazität aus der Phasenverschiebung von Strom und Spannung ermittelt werden kann, wenn die Werte der komplexen Brückenwiderstände Z2 bis Z4 und die anliegende Wechselspannung konstant sind.

Die Wechselspannungsbrücke wird so abgestimmt, daß bei einem bestimmten Kapazitätswert, beispielsweise bei Nennkapazität ( $C_p = 4 \mu F$  bei  $T_p = 20^\circ C$ ) keine der Phasenverschiebung von Strom und Spannung auftritt.

Ist die auf diese Weise ermittelte Stellgliedkapazität % und damit die Stellgliedtemperatur  $T_p$  bekannt, so erfolgt das weitere Vorgehen wie bei dem ersten Ausführungsbeispiel, indem aus dem Kennfeld gemäß Fig. 4 die Energie 1% ermittelt wird, die dem Stellglied zugeführt werden muß, um den gewünschten Stellgliedhub H zu erzielen.

Ein Vorteil beider Ausführungsbeispiele des erfindungsgemäßen Verfahrens ist, daß es "online", d. h., bei laufender Brennkraftmaschine, durchgeführt werden kann.

Ein weiterer Vorteil ist, daß bei Motorsteuerungen, bei welchen die Kraftstofftemperatur ein Parameter ist, ggf. auf ein Kraftstoffthermometer verzichtet werden kann, indem die ermittelte Stellgliedtemperatur  $T_p$  als Kraftstofftemperatur verwendet wird.

Die mit dem erfindungsgemäßen Verfahren ermittelte Stellgliedtemperatur  $T_p$  kann kalibriert werden, indem sie vor jedem Motorstart, dem eine genügend lange Betriebspause vorangegangen ist, dem Wert vorhandener Sensoren (Kühlwasser- oder Ölthermometer) gleichgesetzt wird. In diesem Fall kann nämlich davon ausgegangen werden, daß alle Bauteile, also auch die kapazitiven Stellglieder der Kraftstoffeinspritzventile, bei Motorstart gleiche Temperatur aufweisen.

Es ist aber auch möglich, nach einer genügend langen Betriebspause vor einem Motorstart die Stellgliedtemperatur mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens zu ermitteln und mit den Werten anderer vorhandener Sensoren (Kühlwasser- oder Ölthermometer) zu vergleichen und gleichzusetzen, wenn sie nur geringfügig voneinander abweichen. Sind die Werte um mehr als einen vorgegebenen Betrag voneinander ab, so wird das Stellglied als fehlerhaft angesehen.

#### Patentsprüche

1. Verfahren zum Ansteuern eines kapazitiven Stellgliedes (P) zum Erzielen eines gewünschten Hubs (H), insbesondere zum Betätigen eines Kraftstoffeinspritzventils einer Brennkraftmaschine, **dadurch gekennzeichnet**,

- daß jeweils in Ansteuerpausen des Stellgliedes (P) die momentane Stellgliedtemperatur ( $T_p$ ) aus der zu ihr proportionalen Stellgliedkapazität ( $C_p$ ) bestimmt wird, welche durch Ansteuerung des Stellgliedes (P) mit Kleinsignalen, die keinen Hub des Stellgliedes bewirken, ermittelt wird, und

- daß dem Stellglied zur Erzielung eines gewünschten Hubs (H) ein Energiebetrag  $W_p = f(T_p \text{ oder } C_p; H)$  zugeführt wird, welcher in einem Kennfeld (KF) abhängig von der Stellgliedtemperatur ( $T_p$ ) oder der Stellgliedkapazität ( $C_p$ ) und des gewünschten Hubs (H) gespeichert ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,

- daß zur Ermittlung der Stellgliedkapazität ( $C_p$ ) das Stellglied in Ansteuerpausen auf eine vorgegebene Meßspannung ( $u_m$ ) geladen und anschließend mit einem Konstantstrom ( $i_k$ ) vorgegebener Größe entladen wird,

- daß während der Entladung die Zeit  $\Delta t = t_2 - t_1$  gemessen wird, während welcher die Stellgliedspannung ( $u_p$ ) von einem vorgegebenen ersten Wert ( $u_1$ ) auf einen vorgegebenen, zweiten Wert ( $u_2$ ) abfällt, und

- daß die Stellgliedkapazität ( $C_p$ ) nach der Formel

$$C_p = \frac{i_k}{u_1 - u_2} \Delta t$$

berechnet oder aus einer gespeicherten Tabelle  $C_p = f(\Delta t)$  ermittelt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß jeweils in Ansteuerpausen des Stellgliedes (P) mittels einer mit Wechselspannungs-Kleinsignalen gespeisten Wechselspannungsbrücke (P, Z2 bis Z4), in deren einem Zweig das Stellglied (P) angeordnet ist, die Stellgliedkapazität ( $C_p$ ) aus der in der Brückendiagonale auftretenden Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung ermittelt wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die ermittelte Stellgliedkapazität ( $C_p$ ) oder die aus einer gespeicherten Tabelle  $T_p = f(C_p)$  entnommene, zu ihr proportionale Stellgliedtemperatur ( $T_p$ ) als Parameter des Kennfeldes (KF) verwendet wird.

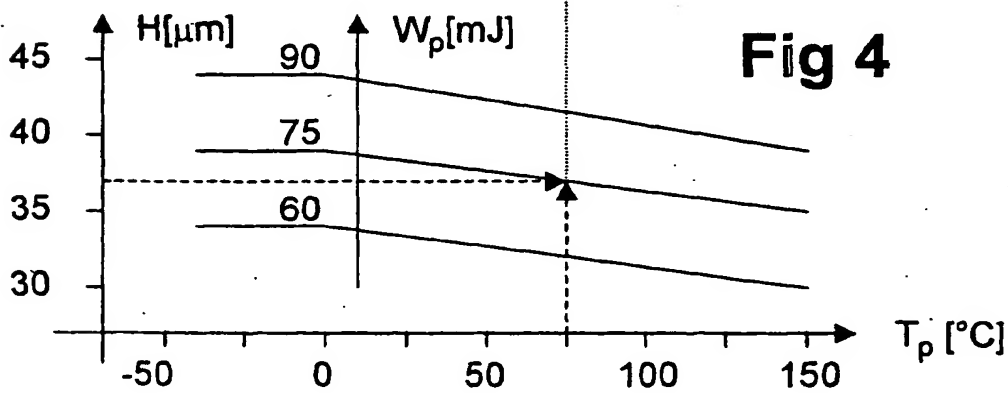
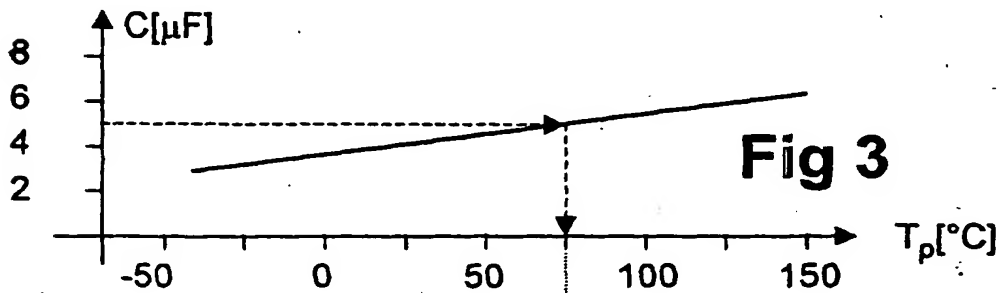
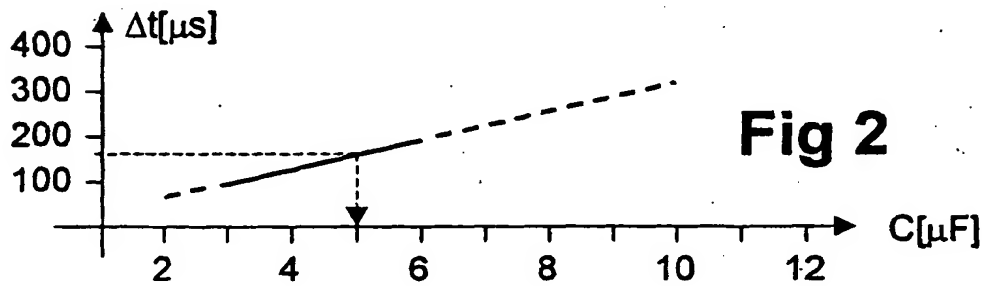
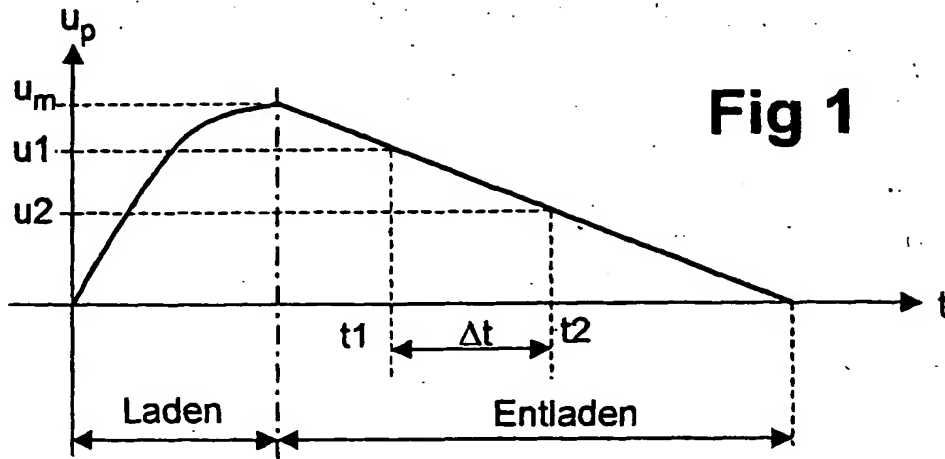
5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die ermittelte Stellgliedtemperatur ( $T_p$ ) als Kraftstofftemperatur herangezogen wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Wert der Stellgliedtemperatur ( $T_p$ ) kalibriert wird, indem er vor jedem Motorstart, dem eine genügend lange Betriebspause vorangegangen ist, dem Wert vorhandener Sensoren (Kühlwasser- oder Ölthermometer) gleichgesetzt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß das Stellglied (P) als fehlerhaft angesehen wird, wenn der vor jedem nach genügend langer Betriebspause erfolgenden Motorstart ermittelte Wert der Stellgliedtemperatur ( $T_p$ ) vom Wert anderer, vorhandener Sensoren (Kühlwasser- oder Ölthermometer) um mehr als einen vorgegebenen Betrag abweicht.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -



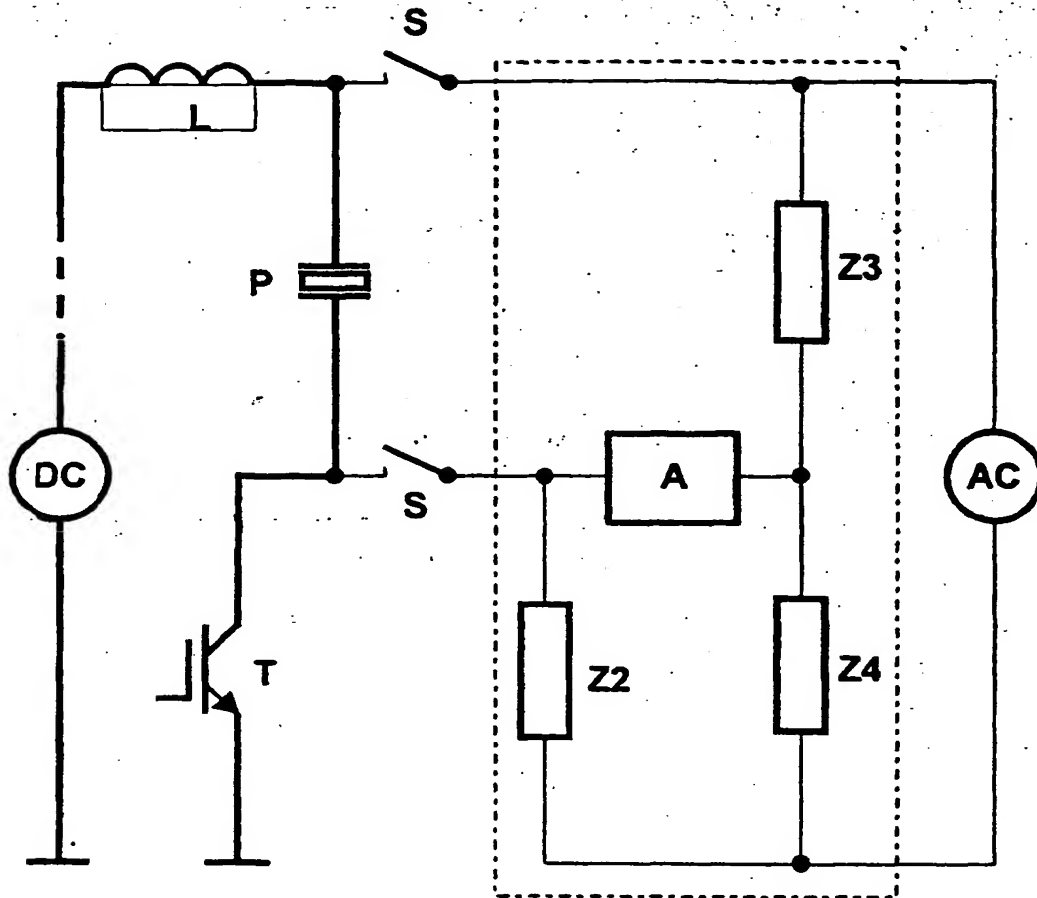


Fig 5